

영상처리기법을 이용한 표면균열길이 측정

남승훈* · 김용일** · 김시천* · 류대현**

Measurement of Surface Crack Length Using Image Processing Technology

Seung Hoon Nahm, Yong Il Kim, Si Cheon Kim and Dae Hyun Ryu

Key Words : Image Processing Technology(영상처리기법), Surface Crack(표면균열), Fatigue(피로), Block matching method(블록 매칭법)

Abstract

The development of a new experimental method is required to easily observe the growth behavior of fatigue cracks. To satisfy the requirement, an image processing technique was introduced to fatigue testing. The length of surface fatigue crack could be successfully measured by the image processing system. At first, the image data of cracks were stored into the computer while the cyclic loading was interrupted. After testing, crack length was determined using image processing software which was developed by ourselves. Block matching method was applied to the detection of surface fatigue cracks. By comparing the data measured by image processing system with the data measured by manual measurement with a microscope, the effectiveness of the image processing system was established. If the proposed method is used to monitor and observe the crack growth behavior automatically, the time and efforts for fatigue test could be dramatically reduced.

1. 서 론

산업설비 중 파손사고의 대부분은 피로파손에 의한 것이다. 이런 이유로 피로와 관련한 재료물성 데이터가 여러 가지 재료 물성 데이터 중에서도 매우 중요한 자리를 차지하고 있다. 그러나 피로시험이 많은 시간과 노동력을 필요로 하기 때문에 기피하고 있는 연구분야중의 하나이다. 그 결과 피로와 관련한 데이터의 생산이 현격히 줄어들고 있다. 따라서 피로시험에 들어가는 시간과 노동력을 줄일 수 있는 시험방법의 개발이 절실하며, 이를 위하여 화상처리 시스템을 이용한 피로균열의 성장거동을 예측하는 방법도 이러한 노력의 일환이다.¹⁻³⁾

재료의 피로시험에 있어서 표면에 발생하는 균열의 길이의 측정 방법은 크게 육안 및 현미경을 이용하는 직접측정과 compliance 및 전위차법을 이용하는 간접측정으로 대별할 수 있는 가운데 손쉽게 균열길이를 직접측정 할 수 있는 현미경을 이용하는 방법이 많이 사용되고 있다. 그러나 하나의 피로 데이터를 얻기 위해서는 장시간과 많은 노동력을 필요로 하므로 Ishii⁴⁾, Ichikawa⁵⁾ 등은 이런 단점을 극복하기 위하여 영상처리기법을 이용한 균열의 진전길이를 자동으로 측정하는 연구를 하였다.

영상처리기법을 이용하여 표면 균열길이의 측정 시 균열의 시작점 및 끝점을 검출하는 기법에 따라 균열길이의 측정오차가 발생하게 된다. 이런 측정 오차를 줄이기 위하여 두 개의 영상이미지를 매칭하거나 균열 주위의 농도차이를 이용하는 방법 등 여러 방법이 제시되고 있는 실정이다.

본 연구에서는 균열크기 자동측정을 위한 CCD 카메라 위치제어 시스템, 균열영상처리 알고리즘 및 소프트웨어 개발을 목표로 하고 있다.

* 한국표준과학연구원 산업측정표준부

** 한국표준과학연구원 물질량표준부

*** 한세대학교 컴퓨터정보통신공학부

2. 실험

2.1 균열인식 알고리즘

임의의 위치에서 발생하는 균열인식 알고리즘⁶⁻⁸⁾은 Fig. 1 과 같다.

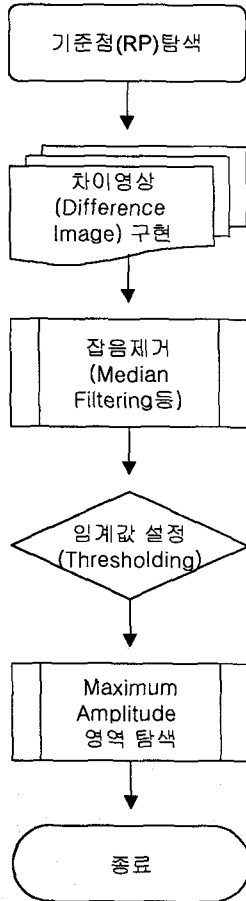


Fig. 1. Image processing algorithm.

1) 기준점 탐색

영상파일을 취득하기 전에 시험편에 기준점(reference point)를 표시하는 것이 좋다. 왜냐하면 영상들을 서로 겹쳐서 나온 차(difference) 영상으로부터 잡음을 제거하고 임계값을 설정한 후 균열을 검출하기 위해서는 두 개의 영상파일이 완전히 겹쳐야 정밀한 차 영상을 얻을 수 있기 때문이다.

2) 차이(difference) 영상 구현

기준점을 기준으로 하여 두 개의 영상을 겹쳐서 차의 영상을 구현한다.

3) 잡음(noise) 제거

영상에서 발생하는 잡음은 찾고자 하는 정보를 얻기 힘들게 한다. 그래서 이러한 잡음을 제거하기 위해서는 필터처리에 의한 방법이나 푸리에 변환 등의 방법을 사용하여 잡음을 줄이는 것이 좋다.^{9,10)}

4) 이진화 및 임계값 설정

영상처리에 있어서 영상으로부터 도형의 모양이나 크기, 선의 굵힘 정도 등과 같은 특정한 정보를 얻기 위해서는 이진영상으로 변환시키면 원하는 정보를 쉽게 얻을 수 있다. 영상의 이진화 처리 또는 임계값 처리는 원리적으로 입력화상을 $F=\{f_{ij}\}$, 출력화상을 $G=\{g_{ij}\}$ 로 하였을 때 파라미터 t 를 이용하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$g_{ij} = \begin{cases} 1 : f_{ij} \geq t \\ 0 : f_{ij} < t \end{cases} \quad (1)$$

여기서 t 는 농도값 수준을 나타내며, 배경부분(white)과 도형부분(black)으로 나누는 것을 결정하는 파라미터로서 일반적으로 한계치라고 한다. 이 한계치를 결정하는 것을 임계치 선택이라고 하며, 이진 영상처리에서는 실제적으로 이 한계치를 어떻게 결정하는가가 중요하다. t 이상의 수준에서는 1(1 화소)로 되고 t 이하의 수준에서는 0(0 화소)로 구성되는 이진 영상이 만들어진다.

5) Maximum amplitude 영역 탐색

이진화 및 임계값 설정으로 얻어진 영상에서 가장 진폭이 큰 영역을 탐색하여 이전에 얻어진 영상과 비교하여 차이 영상을 얻어 균열을 판별한다.

2.2 균열 자동 추적 시스템 구성

만약 CCD 카메라의 위치가 고정되어 있으면, 임의의 위치에서 균열이 발생하여 성장하는 경우나 예비 균열을 시작점으로 하여 균열이 진전하는 경우라도 균열이 진전되어 CCD 카메라의 시야 밖으로 벗어나면 영상을 얻을 수 없게 된다. 이런 경우, 균열 영상을 얻기 위해서는 CCD 카메라를 움직여야 하므로 사람의 노동력을 추가로 필요로 하게 된다. 사람의 노동력을 최소화하기 위해서는 CCD 카메라의 위치제어 시스템을 균열의 진전에 따라 자동적으로 움직일 수 있는 시스템, 즉 자동 추적 시스템의 개발이 필요하다.

본 연구에서 개발한 균열자동추적 시스템을 Fig. 2에 나타내었다. 본 시스템은 CCD 카메라, XYZ 스테이지, 카메라 위치제어기 및 균열영상처리 프로그램 등으로 구성되어 있다. CCD 카메라는 균열의 진전이 CCD 카메라로 얻어진 전체 영상의 3/4 지점에 도달했을 때 이동하게 되어 있다.

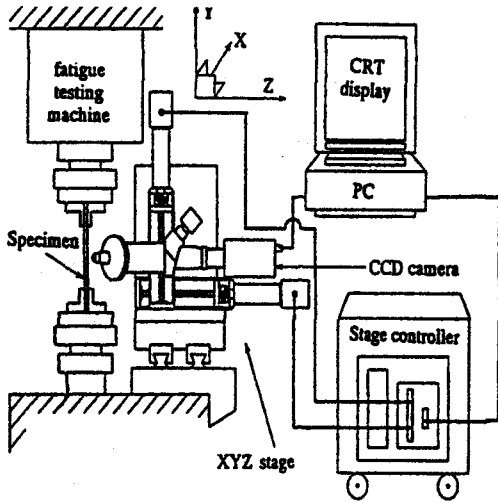


Fig. 2. Schematic diagram of auto-tracking system.

1) CCD 카메라

작은 균열 또는 균열의 선단을 정밀하게 인식하기 위하여 대물렌즈(7 배 확대)를 CCD 카메라(Pulnix, TM-7EX) 앞에 부착시켜 균열의 영상을 얻었다. 균열영상 취득 시 조명조건을 일정하게 하기 위하여 집중 램프를 사용하였다.

2) XYZ 스테이지

CCD 카메라 이동시스템은 마이크로 스텝 모터를 사용하여 X, Y, Z 축을 독립적으로 100 mm 까지 움직일 수 있다. 또한 X 축은 1 μm , Y 및 Z 축은 10 μm 이내의 정밀도로 제어할 수 있도록 각 축에 직선형 엔코더를 부착시켜 카메라의 위치를 확인할 수 있도록 하였다.

3) 균열영상처리 프로그램

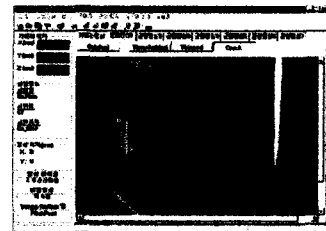
균열영상처리 프로그램은 Windows98 환경하에서 Borland사의 Delphi를 사용하여 제작하였다. 시험편의 형상이 다르거나, 동일한 시험편 형상이라 할지라도 다른 조명 조건하에서 얻어진 균열 영상에서 균열선단을 정확하게 인식할 수 있도록 이미지 매칭 알고리즘과 임계값(threshold)을 균열 선단으로 갈수록 자동적으로 증가시키는 알고리즘을 사용하였다. 또한 임의의 위치에서 발생하는 균열을 추적하기 위하여 영상 취득시간이 다른 균열 이미지(t_0 , t_1)들을 설정된 기준점을 맞추는 방식으로 영상이미지 전체를 매칭시켜 그 차이로부터 생성되는 영상이미지 결과를 다른 균열영상이미지(t_2 , t_3)들과 매칭시켜 균열인지 아닌지의 여부를 확인하는 과정을 반복하여 균열을 검출하는 알고리즘을 사용하였다.^{11,12)}

3. 실험결과 및 고찰

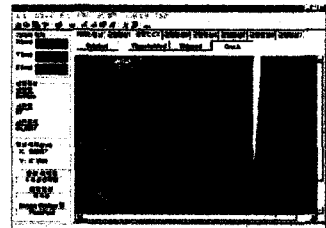
3.1 예비균열이 있는 경우

예비 균열이 있는 경우에는 예비 균열선단을 균열 진전 시작점으로 하여 균열의 길이를 측정한다. 균열이 진전되기 전의 영상을 백그라운드 영상, 균열이 진전된 후의 영상을 균열 영상이라 하였을 때 이 두 영상을 겹쳐서 균열의 시작점을 탐색하여 균열의 시작점 위치를 영상의 픽셀 단위로 하여 좌표(x_0 , y_0)값의 형태로 저장한다. 이렇게 인식된 좌표값과 최종적으로 균열이 진전된 균열선단에서 검출되는 픽셀의 좌표값(x_1 , y_1)을 구한다. 이 좌표값 가운데 횡방향에 해당되는 것이 균열의 진전 길이에 해당되므로 균열에 지의 좌표값 가운데 x_1 값과 균열 시작점의 좌표값 x_0 값과의 차이($x_1 - x_0$)를 구한다. 여기서 구한 값은 픽셀값이므로 실제 균열길이를 구하기 위해서는 한 픽셀당 어느 정도의 길이에 해당되는지를 알아야 한다. 이 정보는 표준자를 이용하여 영상을 얻기 전에 미리 정해진 배율에서 자에 대한 영상을 얻으면 픽셀당 길이를 계산할 수 있다. 이렇게 얻어진 픽셀당 거리를 영상으로부터 얻어진 ($x_1 - x_0$)에 곱함으로써 최종적으로 균열의 길이를 얻을 수 있다.

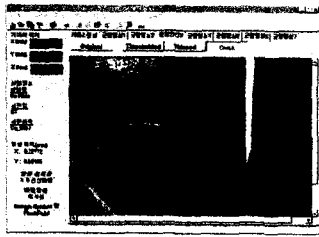
Fig. 3은 예비 균열이 있는 시편에 대하여 균열의 진전과 그 진전 길이를 검출하는 과정을 보여주고 있다. 여기서 붉은 선으로 표시된 것은 균열이 진전된 크기를 표시한 것이며, 균열 영상 이미지의 왼쪽 상단에 표시된 image position은 CCD 카메라의 이동 위치에 해당된다.



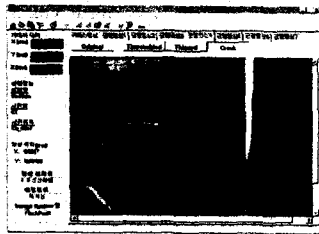
(a) t_0



(b) t_1



(c) t_2



(d) t_3

Fig. 3. Crack detecting procedure.

3.2 임의의 위치에서 균열이 발생하는 경우

임의의 위치에서 발생하는 균열의 경우에는 경과 시간에 따라 얻어진 영상 이미지를 겹쳐서 나오는 차이 영상으로부터 균열의 유무를 판정하는 알고리즘으로 구성되어 있기 때문에 두 개의 영상 이미지를 겹치기 위해서는 어떤 기준점이 필요하게 된다. 시험하기 전에 시험편에 기준점을 표시하고 이 기준점을 가지고 두 개의 영상을 겹쳐서 차이 영상을 구한다. 이 차이 영상으로부터 일반적인 영상 처리 알고리즘으로 균열을 인식하게 되어 있다. 시험 영상이미지로는 480 x 640 크기의 pcx 포맷의 영상을 이용하였다.

Fig. 4에 시험 영상의 일부를, Fig. 5에는 균열 부분을 확대하여 표시한 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 시험영상은 시험편 표면의 거칠기, 조명조건, 시험편 자체의 광학적 성질, CCD 카메라의 성질 등에 따라 샘플 영상의 상태가 달라질 수 있다. 또한 관찰되는 균열 또한 연결성이 좋지 못해 자동적으로 균열을 검출하기에는 적합하지 못한 많은 약조건들이 있음을 알 수 있다. 따라서 시험편의 종류, 시험 방법 등에 따라 알고리즘을 달리 적용해야 할 필요가 있음을 알 수 있다. 그러므로 본 연구에서는 보다 정확하게 균열을 검출하기 위하여 균열의 특성에 관한 전문가 그룹의 사전 지식, 즉 균열의 예비 후보들을 전문가가 선택하고, 선택된 균열 예비 후보들을 집중적으로 관찰할 수 있도록 하였다. 얼마간의 시간이 경과된 후에 얻어진 영상으로부터 선택된 균열 예비 후보들 중 길이의 변화가 검출되는 것이 있다면 이것을 이후

의 시간에 얻어진 영상과 다시 한번 더 비교하였다. 2번 이상 연속해서 길이의 변화가 관찰된다면 이것을 균열로 간주하여 이 균열만을 집중적으로도 지속적으로 관찰하였다.(Fig. 6)

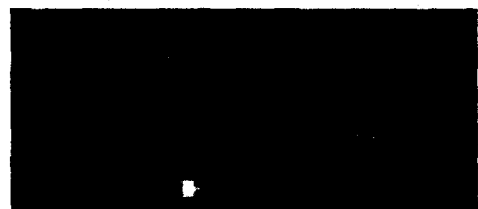


(a) Cycle number = 340000

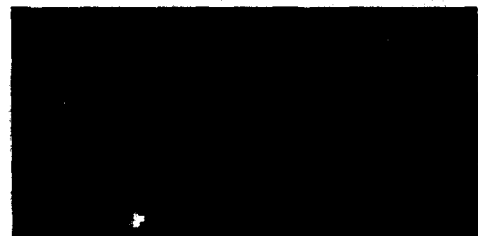


(b) Cycle number = 380500

Fig. 4. Test images



(a) Cycle number = 340000



(b) Cycle number = 380500

Fig. 5. Crack part of test image

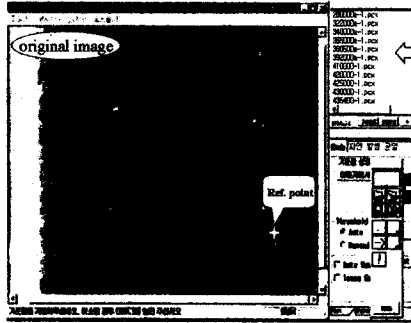
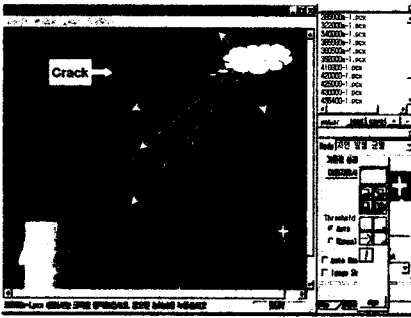
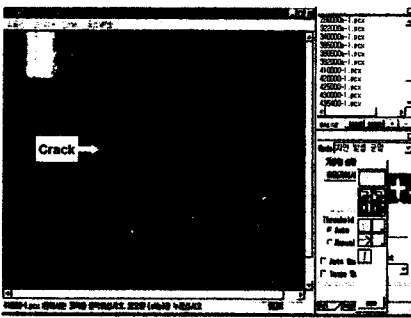
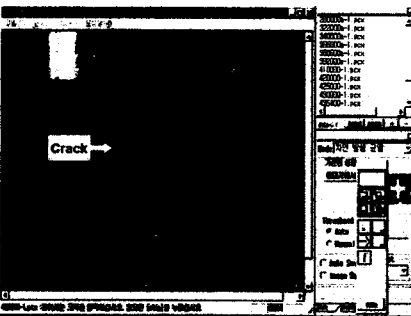
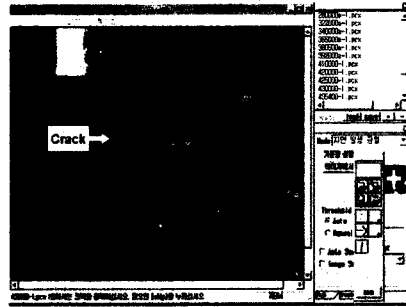
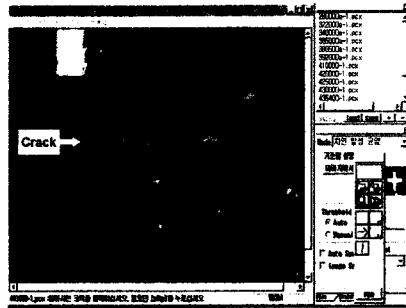
(a) t_0 (b) t_1 (c) t_2 (d) t_3 (e) t_4 (f) t_5

Fig. 6. Crack detecting procedure in the random position.

3.3 표면 피로균열 성장 측정에서의 적용

Fig. 7은 1Cr-1Mo-0.25V 강 CT 시험편에서의 긴 관통균열의 성장거동을 영상처리 시스템을 이용하여 측정 한 결과를 $da/dN-\Delta K$ 선도로 나타낸 것이다. 이 결과는 이전의 연구결과^{1,2,13}를 나타내고 있는 직선과 잘 일치하고 있다.

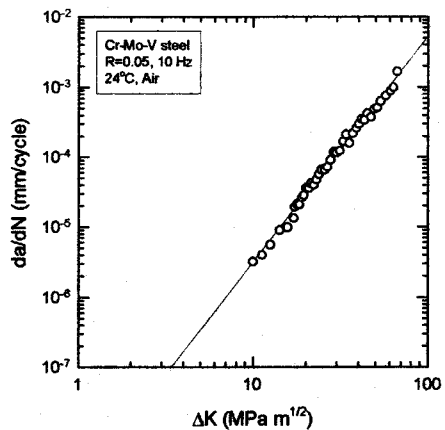


Fig. 7. Dependence of the long crack growth rate of CT specimen upon stress intensity factor range at 24°C.

Fig. 8 은 1Cr-1Mo-0.25V 강 of 상온에서의 시험결과를 영상처리 시스템을 이용하여 얻은 표면 피로 균열길이와 무차원화 시킨 수명비와의 관계로 나타낸 것이다. 피로시험 데이터가 응력수준에 관계없이 모두 좁은 범위 내에 모여 있으며, 이 결과 또한 이전의 연구결과¹³⁾를 나타내는 곡선과 잘 일치하고 있다.

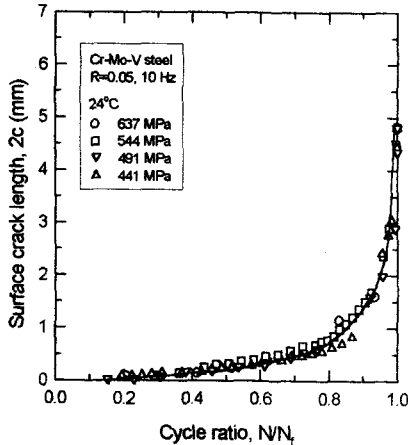


Fig. 8. Relationship between the surface crack length and cycle ratio for 1Cr-1Mo-0.25V steel specimens.

4. 결 론

본 연구에서는 영상처리기법의 알고리즘을 응용한 균열길이 측정시스템을 구축하였으며 이 시스템을 이용하여 균열길이를 실시간에 정량적으로 측정할 수 있는 가능성을 제시하였다.

(1) 균열길이 측정 프로그램에서는 블록매칭방식과 경사임계값 설정방식을 병합하여 균열진전을 성공적으로 검출하였다.

(2) 영상처리기법을 응용한 균열길이의 측정에 있어서 표면 거칠기, 광학적 성질 등과 같은 시험편의 상태와 조명, 진동 등과 같은 시험조건에 따라 매우 상이한 영상을 얻기 때문에 표준 조건 및 절차의 정립이 필수적이다.

(3) 블록매칭방식으로 노치선단을 인식하기 위해서는 여러 가지 형상의 노치에 대한 영상 DB 구축이 요구된다. 이와 더불어 정밀하고 정확한 노치선단인식 및 균열선단인식을 위한 다양한 영상처리 알고리즘의 개발이 필요하다.

참 고 문 헌

- (1) Nahm, S. H. and Suh, C. M., 1997, "Observation on the Growth Behavior Small Surface Cracks Using Remote Measurement System," *ASTM STP 1318*, pp. 71~84.
- (2) Nahm, S. H., Lee, H. M. and Suh, C. M., 1996, "A Study on Observation and Growth Behavior of Small Surface Cracks by Remote Measurement System," *KSME Journal*, Vol. 10, No. 4, pp. 396~404.
- (3) 남승훈, 장상엽, 서창민, 김시천, 1995, "원거리 측정시스템을 이용한 고온하의 표면피로균열의 측정," 대한기계학회 '95년도 추계학술대회논문집(I), pp. 692~698.
- (4) Ishii, A., Lachkhia, V., Ochi, Y. and Akitomo, T., 1993, "Recognition of Small Surface Fatigue Crack Initiation and Crack Tip," *J. Soc. Mat. Sci., Japan*, Vol. 42, No. 481, pp. 1231~1237.
- (5) Ichikawa, M., Takamatsu, T. and Matsumura, T., 1992, "Measurement of Small Crack Lengths under Creep-Fatigue Condition by means of Image Processing," *JSME International Journal*, Vol. 35, No. 2, pp. 241~246.
- (6) Roberts, J., Rose, D., Jullien, G., Nichols, L., Jenkins, P., Chamberain, S., Marroscher, G., Mantha, R. and Litwiller, D. J., 1993, "A PC-based Real Time Defect Imaging System for High Speed Web Inspection," *Proc. SPIE. Vol. 1907. Machine Vision Applications in Industrial Inspection*, pp. 164 ~ 176.
- (7) Han, J. H., Yoon, D. M. and Kang, M. K., 1993, "Features for surface inspection", *Proc. SPIE Machine Vision Applications in Industrial Inspection*, vol1907, San Jose, California, pp. 114 ~ 123.
- (8) 윤두만, 1993, "표면 흠 검출을 위한 CCL 을 기초로 한 기하학적 특징들의 선택과 분류 알고리즘," 포항공과대학 전자계산학과 석사학위논문.
- (9) Tou, J. T. and Gonzalez, R. C., 1974, "Pattern Recognition Principles," Addison-Wesley Pub. Co..
- (10) Duda, R. O. and Hart, P. E., 1973, "Pattern Classification and Scene Analysis," John Wiley & Sons, Inc.
- (11) Rosenfeld, A. and Kak, A. C., 1982, "Digital Picture Processing," 2nd Edition, Academic Press.
- (12) Martelli, A., 1972, "Edge detection using Heuristic search methods," *Computer Graphics and Image Processing*, Vol. 1, pp. 169-182.
- (13) Nahm, S. H., Lee, H. M., Suh, C. M. and Kee, S. S., 1996, "Measurement of Small Surface Fatigue Cracks by Remote Measurement System," *Journal of Materials Science Letters*, Vol. 15, pp. 422~424.